鄂西南五种野生荚蒾属植物种群结构与动态特征研究

赵奂敦[1]，李春辉[2*]，艾训儒[1]，薛卫星[1]，徐来仙[1]，向　钦[1]，周　云[1]
（1. 湖北民族大学 林学园艺学院，湖北 恩施 445000；2. 恩施土家族苗族自治州农业农村局，湖北 恩施 445000）

摘要：为探明鄂西南地区野生荚蒾属（*Viburnum*）植物的种群数量特征及区域分布状况，并揭示宜昌荚蒾（*V. erosum*）、桦叶荚蒾（*V. betulifolium*）、合轴荚蒾（*V. sympodiale*）、茶荚蒾（*V. setigerum*）、荚蒾（*V. dilatatum*）五种荚蒾属植物种群的生存现状及发展趋势，在鄂西南金子山国有林场、木林子及七姊妹山国家级自然保护区，共布设 27 hm^2 固定动态监测样地对荚蒾属植物进行调查，通过对五种荚蒾属植物种群进行年龄结构、动态量化分析和编制静态生命表以及相关曲线等研究，探讨荚蒾属植物种群结构与动态特征及未来发展潜力。结果表明：（1）鄂西南荚蒾属植物在分布区域及种群数量大小上均存在明显差异。（2）种群结构与动态分析显示，五种荚蒾属植物种群年龄结构呈现为金字塔型，幼龄阶段种群个体数量较多，具有较强的增长潜力，但对外界干扰都具有较强的敏感性。（3）静态生命表得到，五种荚蒾属植物存活量均随着龄级的增加而单调递减；消失率与死亡率曲线变化趋势相似，但不同植物消失率与死亡率曲线波动具有差异性；种群存活曲线均趋近于 Deevey-Ⅱ型。（4）4 个生存函数曲线表明，五种荚蒾属植物种群均表现前期大量减少，中期趋于稳定，后期衰退的特点。鄂西南荚蒾属植物资源丰富，对其属植物的合理开发具有一定的科学性和可行性，幼龄阶段时可适当进行人工疏伐，提高保存率；中龄稳定阶段时可筛选性状优势种进行适当开发利用；部分物种则需要加强保护，以维持该地区生物多样性。

关键词：荚蒾属，种群结构，动态量化分析，静态生命表，生存函数

Population structure and dynamic characteristics of five wild *Viburnum* plants in Southwest Hubei, China

ZHAO Huandun[1], LI Chunhui[2*], AI Xunru[1], XUE Weixing[1], XU Laixian[1], XIANG Qin[1], ZHOU Yun[1]
(1 *School of Forestry and Horticulture*, Hubei Minzu University, Hubei 445000, Enshi , China ; 2. *Agriculture and Rural Affairs Bureau of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture*, Enshi 445000, Hubei , China)

Abstract: To explore the population quantitative characteristics and regional distribution of wild *Viburnum* plants in southwest Hubei, and reveal the survival status and development trend of the following five *Viburnum* species: *V. erosum*, *V. betulifolium*, *V. sympodiale*, *V. setigerum* and *V. dilatatum*. A total of 27 hm^2 permanent monitoring stands were set up in Jinzishan National Forest Farm, Mulinzi National Nature Reserve and Qizimei Mountain National Nature Reserve in southwest Hubei. The age structure, dynamic quantitative analysis and static life table of five *Viburnum* species were used to explore the population structure, dynamic characteristics and future development potential of *Viburnum* plants. The results were as follows: (1) The distribution area and population size of *Viburnum* plants in southwest Hubei are significantly different. (2) The age structure of the five *Viburnum* species displays as the pyramidal type summarized from population structure and dynamic analysis.. The number of individuals of each population is large at the young stage (89.48% of *V. erosum* in Jinzi Mountains, 76.38% of *V. betulifolium*, 67.24% of *V. erosum* in Mulinz, 62.11% of *V. dilatatum,* 56.53% of *V. sympodiale*, 58.44% of *V. setigerum*), and only a small proportion of individuals (0.18% of *V. erosum* in Jinzi Mountains, 0.85% of *V. betulifolium*, 3.29% of *V. erosum* in Mulinz, 3.97% of *V. dilatatum,* 8.37% of *V. sympodiale*, 2.79% of *V. setigerum*)

基金项目：中国生态环境部生物多样性调查评估项目（2019HJ2096001006）；湖北省林业科学研究院委托项目(H20064) [Supported by Biodiversity Survey and Assessment Project of Ministry of Ecology and Environment of China (2019HJ2096001006); Authorized item by Hubei Academy of Forestry Sciences (H20064)]。
第一作者：赵奂敦（1996-），硕士研究生，主要从事森林生态系统结构与功能研究，（E-mail）2429989761@qq.com。
***通信作者：**李春辉，高级农艺师，主要从事植物生态及生物资源开发利用研究，（E-mail）1106125155@qq.com。

in the older stage. The young stage plants of five *Viburnum* species all have strong growth potential but are sensitive to external disturbances. (3) The survival quantity of the five *Viburnum* species is decreasing monotonically with increasing age class presented by static life tables. Except for *V. setigerum*, the life expectancy reaches peak at the younger age, all other *Viburnum* species populations reach the peak at the middle age. The change trend of mortality rate and disappearance rate are similar, but the fluctuation of disappearance rate and mortality curve are different among different species. The survival curves are tended to be Deevey-Ⅱ type. (4) The four survival function curves show that all five *Viburnum* species populations exhibited a substantial decrease in the early stage, stabilization in the middle stage, and decline in the late stage. To sum up, *Viburnum* species are abundant plant resources in southwest Hubei. Therefore, it is scientific and feasible to exploit *Viburnum* plants rationally. In the young stage, artificial thinning can be carried out appropriately to improve the preserving rate. During the stable middle stage, the dominant and species which have good ornamental characters can be selected for appropriate development and utilization. However, some species need to be protected to maintain biodiversity in this area.

Key words: *Viburnum*, population structure, dynamic quantitative analysis, static life table, survival function

种群是物种和植物群落的基本单位，对种群的重要属性即种群结构与动态进行研究也一直是种群生态学研究的主要内容（Condit et al., 2000；Manabe et al., 2000；牛翠娟等，2015；刘浩栋等，2020）。种群结构与动态可反映种群在特定阶段的数量分布和配置情况，也能揭示种群与环境之间的关系、种群动态变化及预测未来发展趋势，对植物资源的保护和利用具有重要价值（金慧等，2017；何斌等，2020）。种群统计是研究种群结构与动态的基本方法，主要包括种群年龄结构、动态量化分析、静态生命表、存活曲线、生存函数分析等核心内容（王卓等，2009）。其中，种群年龄结构及动态量化分析不仅可以揭示种群在各龄级阶段的现存数量、种群的更新繁殖能力及种群未来发展的稳定性，还能在一定程度上反映种群在所在环境中的适应能力及种群在该群落中的地位和作用（刘普幸，2011；拓锋等，2021）。种群动态量化分析是对种群结构动态分析中等级归类划分粗放等缺点等进行弥补（陈晓德，1998）。静态生命表可以直观地展现种群的存活率、死亡率及生命期望等重要种群特征，是研究种群结构与动态变化的主要手段，其与生存函数结合对种群进行分析，对揭示种群的生命过程、生存现状及种群在一定条件下生存与繁衍和变化的可能性具有重要意义（罗西等，2021；拓锋等，2021）。因此，综合利用各种群结构与动态的研究方法，更有助于人们深入了解种群的现状、动态特征及演替规律，预测种群未来发展趋势，对种群的保护与利用具有重要指导意义（解婷婷等，2014）。

荚蒾属（*Viburnum*）植物隶属于五福花科（Adoxaceae），全球数量约 200 种，是亚热带森林生态系统重要的组成部分，也是极具开发价值的观赏灌木属，在国际上被誉为“万能绿化灌木”。湖北省分布有荚蒾属植物 43 种，仅鄂西南恩施州就有 28 种（含 22 种 6 变种）（艾训儒等，2018）。因该区域最具代表性的植被类型为亚热带常绿落叶阔叶混交林，所以目前有关群落中植物种群结构与动态的研究主要集中在优势种（姚兰等，2017；朱强等，2019；王进等，2020）、濒危植物（林勇等，2017；杨心兵等，2000；罗西等，2021）等相关研究，而极少涉及具有较高观赏价值，但在群落中较为劣势的荚蒾属植物。据报道，国内约 90%的荚蒾属植物资源仍处于野生状态（吕文君等，2019），且对该属的研究主要集中在常见种的种子休眠与萌发特性（肖月娥等，2007；杨铁华等，2015）、扦插繁殖（黄增艳和宋蕾，2007）、化学成分及元素含量测定（白长财等，2011；孙晓蕾等，2020）等方面，因此查清荚蒾属植物资源的野生分布现状，探究优势荚蒾属植物的生存现状与更新潜力，这对荚蒾属植物原生种种质资源的调查、保护及开发栽培利用等具有重要意义。

本研究以鄂西南金子山国有林场、木林子及七姊妹山国家级自然保护区内的荚蒾属植物种群为研究对象，基于荚蒾属植物资源野外调查数据，筛选出 5 个种群个体数量较为优势的荚蒾属植物为代表进行种群结构与动态特征分析。通过对 5 种优势荚蒾属植物的种群个体数量特征、分布现状、种群结构与动态特征、野外生存现状、自然更新与发展趋势等进行分析讨论，以期为国内荚蒾属植物资源的开发利用等提供一定理论基础，同时为鄂西南地区生物多样性的保护与维持提供一定科学依据。

1 研究区概况

鄂西南地处云贵高原与东部低山丘陵的过渡区域，与重庆、湖南相邻，主要组成部分是恩施土家族苗族自治州，地势起伏大，地形复杂多样，主要为喀斯特地貌，境内小气候丰富，主要为亚热带大陆性季风湿润气候，具有丰富的野生动植物资源。研究样地位于鄂西南金子山国有林场、木林子国家级自然保护区和七姊妹山国家级自然保护区的常绿落叶阔叶混交林内，总面积达 27 hm^2，土壤类型主要为棕壤或黄棕壤，年均气温在 12.7 ～ 15.5 ℃之间，年均降水量 1 475.0 ～ 1 667.5 mm，年日照时数在 1 212 ～ 1 300 h，无霜期约为 4 个月（王进等，2020）；样地中木植被有明显垂直分层，群落物种组成多样（姚兰等，2017；朱强等，2019）（表 1，图 1）。

表 1 研究区概况

Table 1 Survey of study area

区域 Region	乔木层优势种 Dominant species in tree layer	亚乔木层优势种 Dominant species in sub tree layer	灌木层优势种 Dominant species in shrub layer
金子山 Jinzi Mountain（30°17′24″ N，109°04′24″ E）	锥栗 *Castanea henryi* 川陕鹅耳枥 *Carpinus fargesiana*	异叶榕 *Ficus heteromorpha* 桦叶荚蒾 *Viburnum betulifolium*	翅柃 *Eurya alata* 青荚叶 *Helwingia japonica*
木林子 Mulinzi（30°03′20″ N，110°12′48″ E）	川陕鹅耳枥 *Carpinus fargesiana* 亮叶桦 *Betula luminifera*	宜昌木姜子 *Litsea ichangensis* 尖叶四照花 *Cornus elliptica*	翅柃 *Eurya alata* 盐肤木 *Rhus chinensis*
七姊妹山 Qizimei Mountains（30°02′11″ N，109°43′44″ E）	川陕鹅耳枥 *Carpinus fargesiana* 多脉青冈 *Cyclobalanopsis multinervis*	交让木 *Daphniphyllum macropodum* 异叶梁王茶 *Nothopanax davidii*	翅柃 *Eurya alata* 茶荚蒾 *Viburnum setigerum*

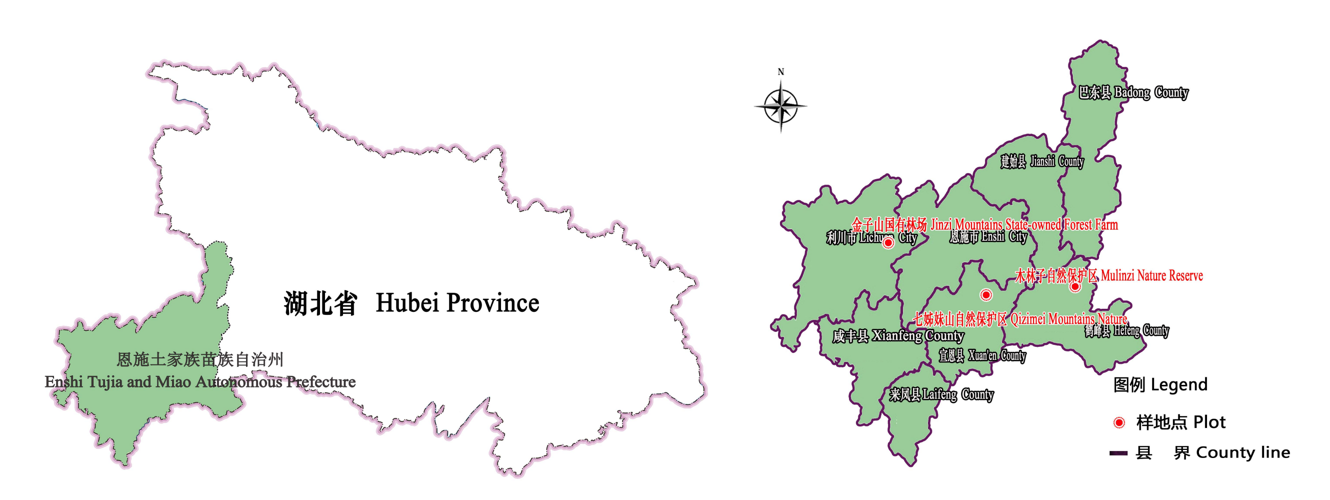


图 1 区位及样地分布图

Fig.1 Map of stands location and distribution

2 研究方法

2.1 样地建设及野外调查

2014 年 4 月至 2016 年 9 月，通过实地调查，在金子山国有林场、木林子国家级自然保护区、七姊妹山国家级自然保护区中选择植被的保存较为完整的天然林，利用全站仪按照 CTFS（Center for Tropical Forest Science）样地建设标准（Condit, 1998）布设固定监测样地，面积共 27 hm^2，包含 675 个 20 m×20 m 的固定样地，其中木林子大样地为 15 hm^2，包含 375 个 20 m×20 m 的固定样地；金子山及七姊妹山大样地均为 6 hm^2，分别包含 150 个 20 m×20 m 的固定样地（王进等，2020）。野外调查以 20 m×20 m 的固定样地为基本单元，用红色油漆对样地中所有胸径（DBH）≥ 1 cm 的木本植物个体在距离地面 1.3 m 处

的树干上进行标记，并挂上特制的具有唯一编号的铝牌，同时进行物种学名（科、属、种）鉴定，测定并记录符合要求的木本植物个体的胸径（DBH）、冠幅、树高（H）及生长状况等信息，并根据设定的坐标原点，记录样地中所有木本植物个体的相对坐标值（X，Y）。基于野外调查数据，对所有样地中的荚蒾属植物进行统计，并分析各荚蒾属植物种群个体数量及在各样地中的分布情况。结合样地及各荚蒾属植物种群个体数量等实际情况，挑选 5 个种群个体数量较为优势的荚蒾属植物进行种群结构与动态特征分析。

2.2 种群结构划分

采用径级代替龄级的方法，结合样地内五种荚蒾属植物的径级特征，以 5 mm 为步长，按照荚蒾属植物胸径将大小级划分为 9 个径级：Ⅰ级，1 cm ≤ DBH < 1.5 cm；Ⅱ级，1.5 cm ≤ DBH < 2 cm，Ⅲ级，2 cm ≤ DBH < 2.5 cm；Ⅳ级，2.5 cm ≤ DBH < 3 cm；Ⅴ级，3 cm ≤ DBH < 3.5 cm；Ⅵ级，3.5 cm ≤ DBH < 4 cm；Ⅶ级，4 cm ≤ DBH < 4.5 cm；Ⅷ级，4.5 cm ≤ DBH < 5 cm；Ⅸ级，DBH ≥ 5 cm。根据径级将所有个体划分为幼龄（Ⅰ级，Ⅱ级）、低龄（Ⅲ级，Ⅳ级）、中龄（Ⅴ级，Ⅵ级）和高龄（Ⅶ级以上）四个阶段。并采用陈晓德(1998)的种群结构动态量化分析方法，对五种荚蒾属植物种群结构进行定量分析。其中 V_{pi} 和 V'_{pi} 分别为不考虑和考虑外部干扰因素下整个种群结构的数量变化动态指数，$P_{极大}(P_{max})$为种群随机干扰风险极大值。V_n、V_{pi}、V'_{pi} 取正、0、负值时分别反映种群个体数量的增长、稳定、衰退的结构动态关系。

2.3 种群静态生命表及存活曲线

静态生命表及存活曲线在研究种群的结构与动态特征中具有重要作用，能直观地展现种群在不同径级的实际生存个体数、死亡数量及存活趋势，由于所研究的荚蒾属植物均为野生种群，为避免生命表中出现死亡率为负的情况，故采用匀滑技术对数据进行处理（江洪，1992；吴承祯等，2000）。将五种荚蒾属植物种群全部个体按照大小级编制静态生命表，并以大小级为横坐标，绘制五种荚蒾属植物的死亡率曲线、消失率曲线及存活曲线；采用 Helt 和 Louckst（1976）提出的指数函数模型 $N_x=N_0e^{-bx}$（代表 Deevey-Ⅱ型曲线）与幂函数模型 $N_x=N_0x^{-b}$（代表 Deevey-III型曲线）对种群存活曲线进行检验。引入生存函数 $S_{(i)}$、累积死亡率函数 $F_{(i)}$、死亡密度函数 $f_{(ti)}$和危险率函数$\lambda_{(ti)}$4 个生存分析函数对五种荚蒾属植物种群结构进行分析，h_i 为区间长度（李金昕等，2016）。

2.4 数据处理

采用 Excel 对文中的数据进行处理及分析，使用 Origin 2021 软件绘制死亡率与消失率曲线、存活曲线及生存函数曲线，并用 SPSS 软件对各种群大小级进行 Kolomogorov-Smirnov 检验（简称 KS 检验）。

3 结果与分析

3.1 荚蒾属植物种群数量特征及分布现状

据调查所得（表 2），鄂西南 3 个区域荚蒾属植物共 13 种，分别为巴东荚蒾（*Viburnum henryi*）、茶荚蒾（*V. setigerum*）、桦叶荚蒾（*V. betulifolium*）、荚蒾（*V. dilatatum*）、宜昌荚蒾（*V. erosum*）、水红木（*V. cylindricum*）、合轴荚蒾（*V. sympodiale*）、球核荚蒾（*V. propinquum*）、短序荚蒾（*V. brachybotryum*）、粉团（*V. plicatum*）、蝴蝶戏珠花（*V. plicatum*）、少花荚蒾（*V. oliganthum*）和陕西荚蒾（*V. schensianum*），各荚蒾属植物的分布状况及种群个体数量存在显著差异。其中，合轴荚蒾分布在金子山、木林子样地，球核荚蒾分布在金子山、七姊妹山样地，少花荚蒾和陕西荚蒾仅分布在金子山样地，短序荚蒾和粉团仅分布在木林子样地，蝴蝶戏珠花仅分布在七姊妹山样地，其余荚蒾属植物则在三个调查样地均有分布。样地中荚蒾属植物共有 8198 株，荚蒾属植物个体总数为金子山 ＞ 木林子 ＞ 七姊妹山；其中种群个体数量较为优势的有桦叶荚蒾、茶荚蒾、荚蒾、宜昌荚蒾、合轴荚蒾等，其余荚蒾属植物种群个体数量均比较少，因此研究以这五种优势种为主要研究对象。

表 2 样地荚蒾属植物分布现状

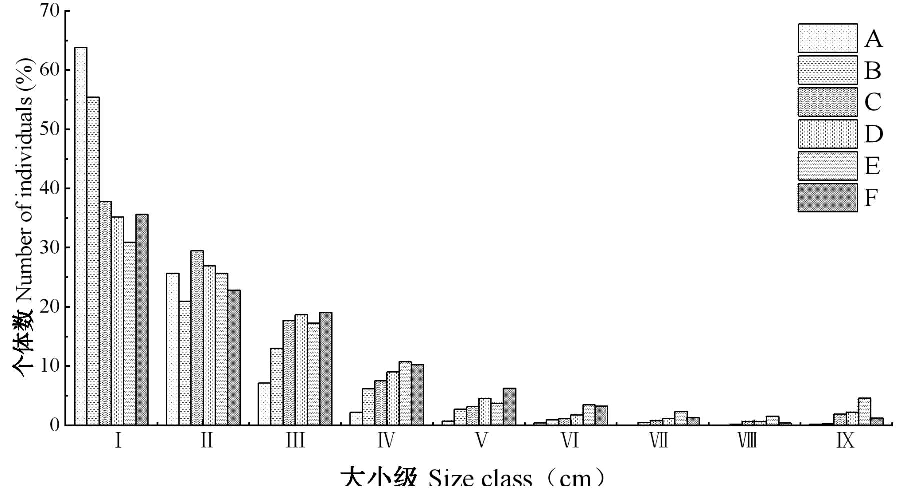
Table 2 Distribution status of *Viburnum* in the different sample site

物种名 Species name	金子山（株） Jinzi Mountains (Plant)	木林子（株） Mulinzi (Plant)	七姊妹山（株） Qizimei Mountains (Plant)	总数（株） Total (Plant)
桦叶荚蒾 *Viburnum betulifolium*	2 697	204	3	2 904
茶荚蒾 *V. setigerum*	24	88	1 362	1 474

荚蒾 *V. dilatatum*	16	1 259	36	1 311
宜昌荚蒾 *V. erosum*	561	638	53	1 252
合轴荚蒾 *V. sympodiale*	1	812	0	813
水红木 *V. cylindricum*	44	1	167	212
巴东荚蒾 *V. henryi*	8	35	95	138
陕西荚蒾 *V. schensianum*	38	0	0	38
球核荚蒾 *V. propinquum*	27	0	1	28
蝴蝶戏珠花 *V. plicatum*	0	0	14	14
少花荚蒾 *V. oliganthum*	10	0	0	10
粉团 *V. plicatum*	0	3	0	3
短序荚蒾 *V. brachybotryum*	0	1	0	1
总数（株）Total (Plant)	3 426	3 041	1 731	8 198

3.2 五种荚蒾属植物种群结构特征及动态变化分析

通过对 3 个区域中各荚蒾属植物种群大小级个体数量进行分析可得（图 2），五种荚蒾属植物种群个体数量均随大小级的增加而总体呈现下降趋势。五种荚蒾属植物种群在幼龄阶段的个体数量占比均较大，但相较于其他区域中荚蒾属植物种群各大小级个体数量分布情况，金子山宜昌荚蒾、桦叶荚蒾种群在幼龄阶段个体数量变化更明显，说明在该样地中宜昌荚蒾与桦叶荚蒾种群在幼龄阶段对环境的适应能力较弱。除木林子样地中合轴荚蒾种群个体数量在高龄级阶段占比大于中龄级阶段，种群大小级结构呈现为不规则的金字塔型，其它荚蒾属植物种群在高龄级阶段的个体数量占比均最小，且种群大小级结构都呈现为高度规则的金字塔型。由此可得，五种荚蒾属植物种群均具有大量的幼龄树，种群的增长状态稳定，表明鄂西南地区五种荚蒾属植物种群具有长期稳定的自我发展能力及维持持续繁衍更新的能力。对各荚蒾属植物种群的大小级进行精确性 KS 检验得到，宜昌荚蒾、桦叶荚蒾、宜昌荚蒾、荚蒾、合轴荚蒾及茶荚蒾的 KS 值分别为 0.16、0.429、0.466、0.537、0.405 及 0.748，不同种群呈现为正态分布，显著性值均大于 0.05。



A. 宜昌荚蒾（金子山）；**B**. 桦叶荚蒾；**C**. 宜昌荚蒾（木林子）；**D**. 荚蒾；**E**. 合轴荚蒾；**F**. 茶荚蒾。下同

A. *Viburnum erosum*（Jinzi Mountains）; **B**. *V. betulifolium*; **C**. *V. erosum*（Mulinzi）; **D**. *V. dilatatum*; **E**. *V. sympodiale*; **F**. *V. setigerum*. The same below.

图 2 五种荚蒾属植物种群大小级结构

Fig. 2 Size class structure of five *Viburnum* species

通过对 3 个区域中各荚蒾属植物进行动态量化分析得到（表 3），五种荚蒾属植物种群均在Ⅸ级出现负值的情况，呈现衰退状态，但五种荚蒾属植物种群数量动态变化指数 V_{pi}（不考虑外部干扰）和 V'_{pi}（考虑随机干扰）均显示 $V_{pi} > V'_{pi} > 0$，说明五种荚蒾属植物种群总体属于增长型，这与种群大小级结构分析结果一致。木林子荚蒾、合轴荚蒾种群及七姊妹山中茶荚蒾种群 V'_{pi} 指数均不大于 1，说明在考虑外界干扰情况下，这三个荚蒾属植物种群的动态变化趋势处于增长型与稳定型之间，各种群动态变化指数值由大到

小为茶荚蒾、荚蒾、合轴荚蒾种群；金子山宜昌荚蒾、桦叶荚蒾种群及木林子宜昌荚蒾种群 V'_{pi} 指数均大于 1。种群结构对随机干扰的敏感性指数（P_{max}）均大于 0，说明五种荚蒾属植物种群稳定性受到外界环境干扰的敏感性强，且敏感性最高的是金子山宜昌荚蒾，最低的是木林子合轴荚蒾。

表 3 五种荚蒾属植物种群动态变化指数（%）

Table 3 Dynamic index value of five species of *Viburnum* (%)

种群动态指数级 Dynamic index class	金子山 Jinzi Mountains		木林子 Mulinzi			七姊妹山 Qizimei Mountains
	宜昌荚蒾 *Viburnum erosum*	桦叶荚蒾 *V. betulifolium*	宜昌荚蒾 *V. erosum*	荚蒾 *V. dilatatum*	合轴荚蒾 *V. sympodiale*	茶荚蒾 *V. setigerum*
V_1	59.78	62.21	21.99	23.48	17.13	35.88
V_2	72.22	38.05	39.89	30.68	32.69	16.40
V_3	70.00	52.57	57.52	51.91	37.86	46.54
V_4	66.67	56.02	58.33	49.56	65.52	38.85
V_5	50.00	65.75	65.00	61.40	6.67	48.24
V_6	100.00	52.00	28.57	36.36	32.14	61.36
V_7	0.00	66.67	20.00	42.86	36.84	70.59
V_8	-100.00	-42.86	-66.67	-71.43	-67.57	-68.75
P_{max}	11.11	2.78	2.78	1.39	0.93	2.22
V_{pi}	63.81	55.22	36.73	34.10	28.43	34.99
V'_{pi}	7.09	1.53	1.02	0.47	0.26	0.78

3.3 五种荚蒾植物种群静态生命表及存活曲线

对 3 个区域中五种荚蒾属植物种群的数据进一步整理并计算得到种群静态生命表（表 4）。由表可见，随着大小级的增加，五种荚蒾属植物种群的标准化存活个数（l_x）逐渐减小，符合物种的生物学特性。种群个体的期望寿命（e_x）除七姊妹山茶荚蒾种群外均在Ⅴ级处出现最高峰值，其中合轴荚蒾种群的期望寿命值最大，且五种荚蒾属植物种群的期望寿命值均在Ⅷ级时偏低，说明在Ⅷ级时各种群已处于生理衰退期。五种荚蒾属植物种群消失率（K_x）与死亡率（q_x）曲线变化趋势一致（图 3），但不同荚蒾属植物种群的死亡率与存活率曲线波动具有较大差异。金子山宜昌荚蒾、桦叶荚蒾种群的死亡率与存活率分别在Ⅱ级、Ⅰ级时段达到第一次峰值，其中，宜昌荚蒾种群死亡率与消失率在Ⅰ ～ Ⅴ级呈现先上升后下降的趋势，而桦叶荚蒾种群死亡率与消失率在Ⅰ ～ Ⅴ级呈现先降后升的趋势，但两种荚蒾属植物种群的期望寿命值总体均呈现上升的趋势。木林子三种荚蒾属植物的死亡率与存活率则在低龄阶段达到第一次峰值，三种荚蒾属植物种群死亡率与消失率在Ⅰ ～ Ⅴ级呈现先升后降的趋势，期望寿命值则先减后增；在Ⅴ级后，三种荚蒾属植物种群死亡率与消失率变化较为缓慢，但期望寿命值下降明显。七姊妹山样地中茶荚蒾种群死亡率与消失率在Ⅰ ～ Ⅶ级的变化较为平缓，期望寿命值在Ⅱ级时达到峰值，Ⅱ级后整体呈下降趋势。综上可得，五种荚蒾属植物在幼龄、低龄阶段种群易受到竞争、环境筛选等作用的影响，但在中龄阶段后，除茶荚蒾以外的其它荚蒾属植物受到的环境筛选和竞争压力相对减弱，环境适应能力增强，且合轴荚蒾、荚蒾在样地中有更好的生存能力。

表 4 五种荚蒾属植物种群静态生命表

Table 4 Static life table of five *Viburnum* species

物种 Species	龄级 Age class	A_x	a_x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	$\ln l_x$	K_x	S_x
宜昌荚蒾（金子山）*Viburnum erosum* (Jinzi Mountains)	Ⅰ	358	358	1 000	598	0.60	701	1 077	1.08	6.91	0.91	0.40
	Ⅱ	144	144	402	291	0.72	257	376	0.93	6.00	1.28	0.28
	Ⅲ	40	40	112	78	0.70	73	119	1.06	4.72	1.20	0.30
	Ⅳ	12	12	34	22	0.67	22	46	1.38	3.51	1.10	0.33
	Ⅴ	4	4	11	3	0.25	10	24	2.13	2.41	0.29	0.75

	Ⅵ	2	3	8	3	0.33	7	14	1.67	2.13	0.41	0.67
	Ⅶ	0	2	6	3	0.50	4	7	1.25	1.72	0.69	0.50
	Ⅷ	0	1	3	0	0.00	3	3	1.00	1.03	0.00	1.00
	Ⅸ	1	1	3	—	—	—	—	—	1.03	—	—
桦叶荚蒾 *V. betulifolium*	Ⅰ	1 495	1 495	1 000	622	0.62	689	1 352	1.35	6.91	0.97	0.38
	Ⅱ	565	565	378	144	0.38	306	663	1.75	5.93	0.48	0.62
	Ⅲ	350	350	234	123	0.53	173	357	1.52	5.46	0.75	0.47
	Ⅳ	166	166	111	62	0.56	80	184	1.66	4.71	0.82	0.44
	Ⅴ	73	73	49	11	0.23	43	104	2.14	3.89	0.27	0.77
	Ⅵ	25	56	37	11	0.30	32	61	1.63	3.62	0.36	0.70
	Ⅶ	12	39	26	11	0.44	20	29	1.13	3.26	0.57	0.56
	Ⅷ	4	22	15	11	0.77	9	9	0.61	2.69	1.48	0.23
	Ⅸ	7	5	3	—	—	—	—	—	1.21	—	—
宜昌荚蒾（木林子） *V. erosum* (Mulinzi)	Ⅰ	241	241	1 000	220	0.22	890	2 255	2.26	6.91	0.25	0.78
	Ⅱ	188	188	780	311	0.40	624	1 365	1.75	6.66	0.51	0.60
	Ⅲ	113	113	469	270	0.58	334	741	1.58	6.15	0.86	0.42
	Ⅳ	48	48	199	116	0.58	141	407	2.04	5.29	0.88	0.42
	Ⅴ	20	20	83	8	0.10	79	266	3.20	4.42	0.11	0.90
	Ⅵ	7	18	75	8	0.11	71	187	2.50	4.31	0.12	0.89
	Ⅶ	5	16	66	8	0.13	62	116	1.75	4.20	0.13	0.88
	Ⅷ	4	14	58	8	0.14	54	54	0.93	4.06	0.15	0.86
	Ⅸ	12	12	50	—	—	—	—	—	3.91	—	—
荚蒾 *V. dilatatum*	Ⅰ	443	443	1 000	235	0.23	883	2 503	2.50	6.91	0.27	0.77
	Ⅱ	339	339	765	235	0.31	648	1 621	2.12	6.64	0.37	0.69
	Ⅲ	235	235	530	275	0.52	393	973	1.83	6.27	0.73	0.48
	Ⅳ	113	113	255	126	0.50	192	580	2.27	5.54	0.68	0.50
	Ⅴ	57	57	129	16	0.12	121	388	3.02	4.86	0.13	0.88
	Ⅵ	22	50	113	16	0.14	105	267	2.37	4.73	0.15	0.86
	Ⅶ	14	43	97	16	0.16	89	163	1.67	4.58	0.18	0.84
	Ⅷ	8	36	81	16	0.19	73	73	0.90	4.40	0.22	0.81
	Ⅸ	28	29	65	—	—	—	—	—	4.18	—	—
合轴荚蒾 *V. sympodiale*	Ⅰ	251	251	1 000	171	0.17	914	2 693	2.69	6.91	0.19	0.83
	Ⅱ	208	208	829	271	0.33	693	1 779	2.15	6.72	0.40	0.67
	Ⅲ	140	140	558	211	0.38	452	1 086	1.95	6.32	0.48	0.62
	Ⅳ	87	87	347	227	0.66	233	633	1.83	5.85	1.06	0.34
	Ⅴ	30	30	120	12	0.10	114	400	3.35	4.78	0.11	0.90
	Ⅵ	28	27	108	8	0.07	104	287	2.67	4.68	0.08	0.93
	Ⅶ	19	25	100	8	0.08	96	183	1.84	4.60	0.08	0.92
	Ⅷ	12	23	92	8	0.09	88	88	0.96	4.52	0.09	0.91
	Ⅸ	37	21	84	—	—	—	—	—	4.43	—	—
茶荚蒾 *V. dilatatum*	Ⅰ	485	485	1 000	359	0.36	821	2 351	2.35	6.91	0.44	0.64
	Ⅱ	311	311	641	105	0.16	589	1 530	2.39	6.46	0.18	0.84
	Ⅲ	260	260	536	249	0.47	411	941	1.76	6.28	0.63	0.53
	Ⅳ	139	139	287	111	0.39	231	530	1.85	5.66	0.49	0.61
	Ⅴ	85	85	175	70	0.40	140	299	1.71	5.17	0.51	0.60
	Ⅵ	44	51	105	35	0.33	88	159	1.51	4.66	0.41	0.67

	Ⅶ	17	34	70	35	0.50	53	71	1.01	4.25	0.69	0.50
	Ⅷ	5	17	35	33	0.94	19	19	0.53	3.56	2.83	0.06
	Ⅸ	16	1	2	—	—	—	—	—	0.72	—	—

A*$_x$**. 实际存活数；a*$_x$**. 修正后存活数；***l*$_x$**. 标准化存活数；***d*$_x$**. 标准化死亡数；***q*$_x$**. 死亡率；***L*$_x$**. *x* 到 *x*+1 大小级级间隔期平均存活的个体数；***T*$_x$**. *x* 到超过 *x* 大小级的个体总数；***e*$_x$**. 生命期望值；***lnl*$_x$**. 存活数的自然对数；***K*$_x$**. 消失率；***S*$_x$**. 存活率。

***A*$_x$**. Actual survival number; ***a*$_x$**: The correction value of A_x; ***l*$_x$**. Standardized survival number; ***d*$_x$**. Standardized deaths; ***q*$_x$**. Mortality rate; ***L*$_x$**. Average number of survived individuals during the interval from *x* to *x*+1 size class; ***T*$_x$**. The total number of individuals from *x* to over *x* size class; ***e*$_x$**. Life expectancy value; ***lnl*$_x$**. Natural logarithm of survival number; ***K*$_x$**. Vanish rate; ***S*$_x$**. Survival rate.

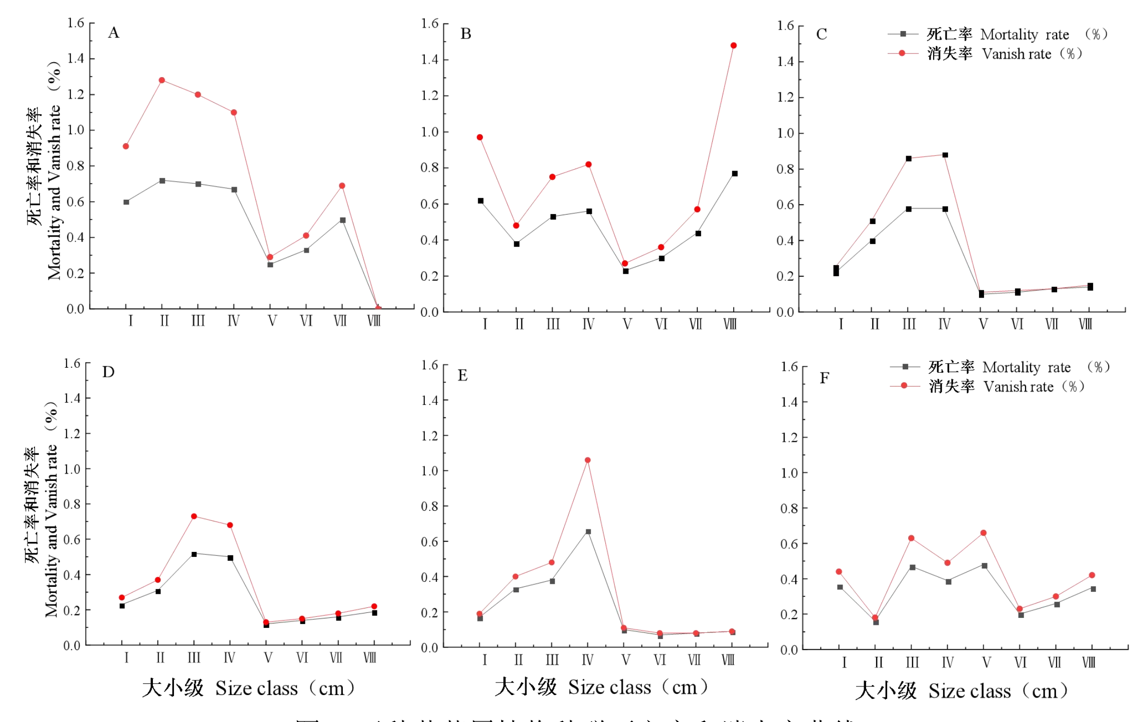


图 3 五种荚蒾属植物种群死亡率和消失率曲线

Fig.3 Mortality and vanish rate of five *Viburnum* species

不同样地的荚蒾属植物种群的存活曲线趋势变化不一致（图 4），其中木林子三种荚蒾属植物种群及金子山宜昌荚蒾种群的变化趋势整体呈现为“凸—凹—凸”型，但七姊妹山茶荚蒾种群则在整体呈现出“凹—凸—凹”的变化趋势，而金子山桦叶荚蒾种群则呈现为“凹—凸—凹—凸—凹”的变化趋势。总体来看，五种荚蒾属植物种群的存活曲线介于“Deevey-Ⅱ”和“Deevey-Ⅲ”型之间。结合 Helt 和 Louckst 提出的指数函数和对数函数对五种荚蒾属植物种群存活曲线进行检验（表 5），对比拟合的两种模型的 R^2，各荚蒾属植物种群的指数模型 R^2 值均大于幂函数模型，且 P 值均小于 0.001，结合静态生命表和存活曲线分析认为，可以明显得出五种荚蒾属植物种群存活曲线与“Deevey-Ⅱ”型相近，种群存活曲线的变化趋势和模型检验的结果保持一致，说明各荚蒾属植物种群结构总体处于稳定状态，但不同种群存在一定差异性。

表 5 存活曲线模型拟合

Table 5 Survival curve fitting model

区域 Region	种名 Specific name	指数方程 $N_x=N_0e^{-bx}$ exponential equation $N_x=N_0e^{-bx}$	幂函数方程 $N_x=N_0x^{-b}$ Power function equation $N_x=N_0x^{-b}$
金子山 Jinzi Mountains	宜昌荚蒾 *Viburnum erosum*	$y = 9.582\,1e^{-0.257x}$ $R^2 = 0.983\,7$	$y = 9.899x^{-0.927}$ $R^2 = 0.881\,3$
	桦叶荚蒾 *V betulifolium*	$y = 9.174e^{-0.177x}$ $R^2 = 0.860\,9$	$y = 8.9509x^{-0.606}$ $R^2 = 0.693\,6$
木林子 Mulinzi	宜昌荚蒾 *V. erosum*	$y = 7.3945e^{-0.079x}$ $R^2 = 0.922\,6$	$y = 7.6205x^{-0.298}$ $R^2 = 0.910\,9$
	荚蒾 *V. dilatatum*	$y = 7.3616e^{-0.067x}$	$y =7.5178x^{-0.251}$

		$R^2 = 0.954\ 3$	$R^2 = 0.918\ 1$
	合轴荚蒾 *V. sympodiale*	$y = 7.3489e^{-0.064x}$ $R^2 = 0.902\ 7$	$y = 7.5167x^{-0.24}$ $R^2 = 0.8820$
七姊妹山 Qizimei Mountains	茶荚蒾 *V. dilatatum*	$y = 11.256e^{-0.197x}$ $R^2 = 0.600\ 8$	$y = 10.127x^{-0.617}$ $R^2 = 0.409\ 7$

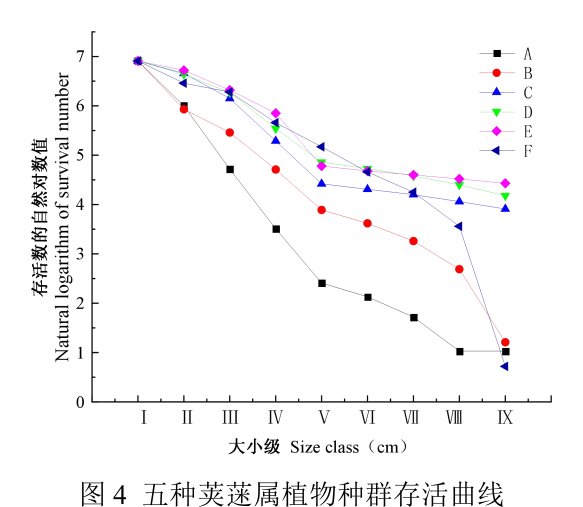
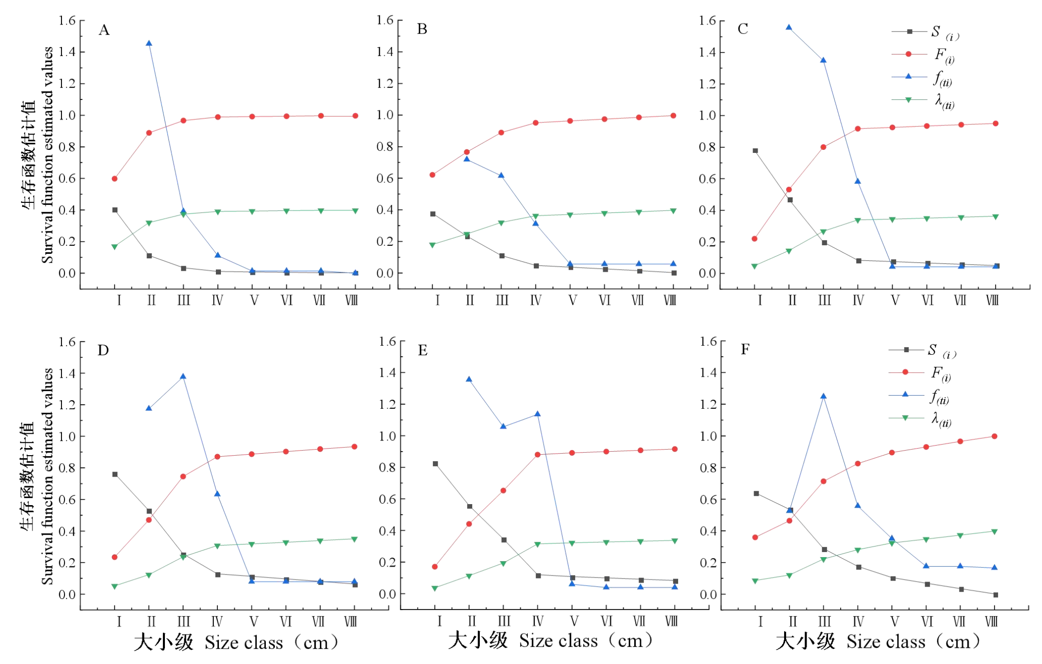


图 4 五种荚蒾属植物种群存活曲线

Fig.4 Survival curve of five *Viburnum* species

3.4 五种荚蒾属植物种群生存分析

基于种群静态生命表，对五种荚蒾属植物种群的生存分析结果显示（图 5），各荚蒾属植物种群累积死亡率随大小级单调递增，生存率随大小级单调递减，且均表现为幼龄、低龄时变化幅度大，在中龄及高龄时变化幅度小，可以得到天然条件下五种荚蒾属植物幼龄阶段死亡率都较高，这与静态生命表的分析结果一致。木林子三种荚蒾属植物种群及七姊妹山样地茶荚蒾种群的生存率与累积死亡率均在第 II 级时达到平衡，而金子山宜昌荚蒾、桦叶荚蒾种群的累积死亡率则一直高于生存率，这说明金子山宜昌荚蒾、桦叶荚蒾种群在幼龄阶段之前已经进入衰退，木林子及七姊妹山荚蒾属植物种群进入衰退期的时间则在幼龄阶段时期。五种荚蒾属植物的死亡密度曲线均随着大小级的增加而呈现波动下降的趋势，且在幼龄及低龄阶段的值相对较高，说明五种荚蒾属植物种群个体数量在幼龄及低龄阶段大量锐减。五种荚蒾属植物种群的危险率在Ⅰ ～ Ⅴ级随大小的增长而单调递增，进一步说明五种荚蒾属植物种群个体数量在幼龄及低龄阶段随着龄级的增加而减少，之后危险率变化趋势则随着大小级的增加而逐渐趋于平缓。4 个生存函数曲线表明，五种荚蒾属植物种群均表现为前期个体数大量减少，中期趋于稳定，后期衰退的状态。



$S_{(i)}$. 生存率；$F_{(i)}$. 累积死亡率函数；$f_{(ti)}$. 死亡密度函数；$\lambda_{(ti)}$. 危险率函数.

$S_{(i)}$. Survival rate; $F_{(i)}$. Cumulative mortality rate; $f_{(ti)}$. Mortality density; $\lambda_{(ti)}$. Hazard rate.

图 5 五种荚蒾属植物种群生存函数曲线

Fig.5 Survival function curve of five *Viburnum* species

4 讨论

4.1 样地中荚蒾属植物种群数量特征及分布现状

种群数量特征可以表征种群个体数量及分配状况，对于揭示群落的形成和维持机制具有重要意义(费世民等，2008)。对鄂西南 3 个区域荚蒾属植物个体数量对比分析得到，单位面积内荚蒾属植物个体数量排序依次为金子山 > 七姊妹山 > 木林子。3 个区域中荚蒾属植物均为灌木或小乔木，在群落中基本处于中下层，各区域地理位置及气候相近，受水热条件差异的影响较小，但群落演替阶段存在差异性，且群落演替程度为木林子 > 七姊妹山 > 金子山（艾训儒等，2018；王进等，2020；李玮宜等，2021），这说明各区域荚蒾属植物个体数量受到群落演替阶段的影响。从鄂西南各荚蒾属植物种群个体数量来看，单位面积内种群个体数量大小为桦叶荚蒾 > 茶荚蒾 > 荚蒾 > 宜昌荚蒾 > 合轴荚蒾等。可见，不同荚蒾属植物在同一地区的种群大小存在明显差异，这可能与不同种群对环境适应能力、繁殖及生存能力的差异性所造成的。对五种荚蒾属植物优势种群的分布情况进行分析，桦叶荚蒾主要分布于金子山，茶荚蒾主要分布于七姊妹山，荚蒾与合轴荚蒾主要分布在木林子，宜昌荚蒾则在金子山与木林子均有分布。一般而言，同属物种具有相似的进化特征和生态适应性，导致它们对环境资源的利用也可能具有相似性，因此它们可能会面临更强烈的种间竞争而影响共存(Ackerly & Donoghue，1998)。综上所述，鄂西南野生荚蒾属植物资源丰富，但各荚蒾属植物种群个体数量及分布情况均存在明显的差异性。因此，对于种群较为优势的物种，可考虑进行开发利用，并加强对其自身生物学性状、竞争能力及环境影响因素等的进一步研究；而较为劣势或稀少的种群则需加强其野生种质资源的保护。

4.2 五种荚蒾属植物种群结构特征

种群的径级结构可以替代种群年龄结构来反映种群发展对生境的适应与种群的生存状态（陈育等，2014）。本研究对 3 个区域中五种荚蒾属植物的种群结构与动态特征分析显示，各荚蒾属植物种群的个体数量均随着大小级的增大而逐渐减小，总体均呈现为金字塔结构，这与李功麟等（2021）对固沙灌木种群年龄结构的研究结果相似，种群幼龄阶段数量多，可以适应当地生境，通过大量繁殖幼苗的策略来维持种群稳定性，但高龄阶段种群个体数量相对较少，反映各荚蒾属植物种群在高龄阶段的植株生存较为困难的现象。对各种群的大小级进行 KS 检验，得出各种群均呈现正态分布。种群中个体对环境的适应能力可以通过种群数量动态来反映（Bierzychudek, 2014）。本研究对各荚蒾属植物种群动态量化分析显示，五种荚

蒾属植物都对外部环境具有较高的敏感性，表现为种群整体均呈现为稳定增长、后期衰退的趋势。结合样地中实际调查情况，荚蒾属植物在森林群落中主要位于中下层的位置，在群落中属于相对劣势的物种，光照等环境因素也在一定程度上影响其种群增长的稳定性，同层种间资源竞争压力大，且随着幼龄个体的逐步增长，需要从环境中获得更多的资源，种内竞争也逐渐加剧。在不考虑和考虑外部干扰时，各荚蒾属植物种群增长潜力均为宜昌荚蒾（金子山） > 桦叶荚蒾 > 宜昌荚蒾（木林子）> 茶荚蒾 > 荚蒾 > 合轴荚蒾，但在考虑外部干扰时，宜昌荚蒾及桦叶荚蒾种群具有更好的增长潜力；其它荚蒾属植物的动态变化为处于增长型和稳定性之间的过渡阶段，这进一步反映各荚蒾属植物种群增长及动态变化趋势的差异性可能是受到其生境及植物自身性状的影响。

4.3 五种荚蒾属植物种群动态变化趋势

静态生命表、存活曲线、生存函数分析等不仅能反映种群的生存状况及环境对其的影响程度，还可以预测种群未来的发展趋势（陈晓德，1998）。本研究对 3 个区域内荚蒾属植物种群数量进行统计，并编制种群静态生命表以及相关曲线等来分析种群的生存状态及发展趋势。五种荚蒾属植物种群存活曲线均趋近于 Deevey-Ⅱ曲线，说明各荚蒾属植物种群具有相对稳定的发展趋势，存活量随大小级的增加而减少。七姊妹山茶荚蒾种群的期望寿命值在Ⅱ级时出现最高峰，其它荚蒾属植物种群的期望寿命值均在Ⅴ级处出现最高峰，且合轴荚蒾种群期望寿命值最大，说明七姊妹山茶荚蒾种群在幼龄阶段时能够更好地适应生存环境，而其它荚蒾属植物则在中龄阶段时对环境的适应能力较好，其中合轴荚蒾的适应能力最强，但随着大小级的增加，各荚蒾属植物种群在高龄阶段均处于生理衰退期。这可能与七姊妹山样地处于干扰后的中期阶段，且样地中主要物种的大径级个体在空间分布上表现出特定的生境偏好有关（姚良锦等，2017）。

五种荚蒾属植物种群的死亡率与存活率曲线研究结果显示各荚蒾属植物种群的死亡率与存活率曲线变化趋势较为接近，但不同荚蒾属植物种群的死亡率与存活率曲线波动差异较为明显，这可能与环境的筛选作用及各荚蒾属植物的资源竞争力有关。各荚蒾属植物种群的死亡率与存活率均在幼龄或低龄阶段达到第一次峰值，由于各荚蒾属植物种群在幼龄和低龄个体密度大，随着生长过程中对资源和空间的需求增加，种内及种间竞争能力增强，因此由密度制约效应引发的种群自疏和他疏作用导致种群有较高的死亡率（韩文轩和方精云，2008；何斌等，2020）。

生存函数能够更直观、具体地说明种群的结构和动态变化(李文英等，2018)。本研究生存函数分析结果与静态生命表分析结果一致，五种荚蒾属植物种群均表现为前期幼龄及低龄阶段个体数大量减少，中期趋于稳定，后期衰退的状态，这说明在天然更新下，虽然各荚蒾属植物种群在幼龄死亡率较高，种群个体数量急剧下降，但大量的幼龄及低龄树依旧对种群中龄阶段具有较强的贡献，表明通过环境筛选及密度制约而存活的树种，对环境具有较强的适应及资源竞争能力，维持了种群的平稳发展，而在高龄阶段，各荚蒾属植物则进入生理衰退时期（李文英等，2018）。

目前国内关于野生荚蒾属植物野外资源的研究较少，对荚蒾属植物的认知严重不足，虽然本研究掌握了鄂西南部分地区荚蒾属植物的基础数据，并揭示了部分较为优势的荚蒾属植物种群结构与动态特征，但各荚蒾属植物的功能性状、繁殖更新能力、种内及种间关系等还有待进一步研究。因此，建议查明该地区其它荚蒾属植物种群较为弱势的原因及种群结构与动态变化，并加强对该地区各荚蒾属植物的监测与系统性研究，明确各荚蒾属植物自身生物学特性及空间分布特征，为维护鄂西南地区的生物多样性提供帮助，也为国内其它地区的荚蒾属植物资源的研究及开发利用提供科学依据。

5 结论

鄂西南地区是中国荚蒾属植物分布的主要区域，荚蒾属植物受到物种自身性状、种间关系及群落演替阶段的影响，在分布情况及种群个体数量方面都具有明显差异。研究区内个体数量较为优势的五种荚蒾属植物为：桦叶荚蒾、宜昌荚蒾、荚蒾、茶荚蒾及合轴荚蒾；五种荚蒾属植物种群大小级结构呈现为金字塔型，种群增长稳定，幼龄个体数量多，有较强的自我更新能力，具有极大的开发潜力，但种群又易受到外界环境干扰、物种的更新能力及资源竞争力等因素的影响，尤其是各种群在高龄阶段时均受到较强的影响。因此，考虑该属植物对环境资源需求的前提下，在对鄂西南荚蒾属植物资源保护利用过程中，幼龄阶段时可适当进行人工疏伐，提高保存率；中龄稳定阶段时可筛选性状优势种进行适当开发利用。

参考文献：

AI XR, HUANG S, YAO L, et al., 2018. Flora of Enshi[M]. Beijing: Science Press, 4: 103-116. [艾训儒，黄升，姚兰，等，2018. 《恩施植物志》[M]. 北京：科学出版社，4: 103-116.]

ACKERLY DD, DONOGHUE MJ, et al., 1998. Leaf size, sapling allometry, and Corner's Rules: phylogeny and correlated evolution in maples[J]. Am. Nat, 152(6): 767.

BAI CC, HAN L, ZHAO YS, 2011. Determination of 12 inorganic elements in *Viburnum betulifolium* of fruit[J]. Asia-Pacific Trad Med, 7(10): 18-19. [白长财，韩璐，赵云生，2011. 桦叶荚蒾果实中 12 种无机元素含量测定[J]. 亚太传统医药，7(10): 18-19.]

BIERZYCHUDEK P, 2014. Plant biodiversity and population dynamics[M]. Ecology and the Environment: 29-65.

CONDIT R, ASHTON PS, BAKER P, et al., 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species[J]. Science, 288(5470): 1 414-1 418.

CONDIT R, 1998. Tropical forest census plots: methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots [M]. Berlin: Springer: 23-55.

CHEN XD, 1998. A study on the method of quantitative analysis for population and community structural dynamics[J]. Acta Ecol Sin, 18(2):104-107. [陈晓德，1998. 植物种群与群落结构动态量化分析方法研究[J]. 生态学报，18(2): 104-107.]

CHEN Y, YANG J, ZHANG PJ, et al., 2014. Population structure and spatial point pattern of *Helianthemum soongoricum* in West Ordos, Inner Mongolia, China[J]. J Desert Res, 34(1): 75-82. [陈育，杨劼，张璞进，等，2014. 西鄂尔多斯半日花(*Helianthemum soongoricum*)种群结构和点格局分析[J]. 中国沙漠，34(1): 75-82.]

FEI SM, HE YP, CHEN XM, et al., 2008. Quantitative features of populations of *Pinus tabulaeformis* and *P. armandii* regenerated following water damage at qinling mountain, China[J]. Chin J Plant Ecol, 32(1): 95-105. [费世民，何亚平，陈秀明，等，2008. 秦岭水灾迹地油松和华山松更新种群数量特征[J]. 植物生态学报，32(1): 95-105.]

HE B, LI Q, CHEN QL, et al., 2020. Quantitative characteristics and population dynamics of *Pinus massoniana* plantation in northwest Guizhou Province [J]. J Cent S Univ For Technol, 40(11): 129-137. [何斌，李青，陈群利，等，2020. 贵州省西北部马尾松人工林种群数量特征与动态[J]. 中南林业科技大学学报，40(11): 129-137.]

HETT JM, LOUCKS OL, 1976. Age Structure Models of Balsam Fir and Eastern Hemlock[J]. J. Ecol, 3(64): 1 029-1 044.

HAN WX, FANG JY, 2008. Self-Thinning Law in Plant Population : -3/2 vs -4/3?[J]. J Peiking Univ(Nat Sci Ed), (4): 661-668. [韩文轩，方精云，2008. 植物种群的自然稀疏规律—— -3/2 还是-4/3?[J]. 北京大学学报(自然科学版)，44(4): 661-668.]

JIN H, ZHAO Y, YIN H, et al., 2017. Quautitative characteristics and dynamic analysis of the endangered species *Rhododendron chrysamium* population in CHangbai mountain[J]. Chin J Ecol, 36(10): 3 123-3 130. [金慧，赵莹，尹航，等，2017. 长白山濒危植物牛皮杜鹃(*Rhododendron chrysanthum*)种群数量特征与动态分析[J]. 生态学杂志，36(11): 3 123-3 130.]

JIANG H,1992. *Picea asperata* population ecology[M]. Beijing:China Foresty Press:11-12. [江洪，1992. 云杉种群生态学[M]. 北京：中国林业出版社：11-12.]

LIU HD, CHEN Q, XUE ZY, et al., 2020. Natural population structure and spatial distribution pattern of rare and endangered species of *Dacrydium pectinatum*[J]. Acta Ecol Sin, 40(9): 2 985-2 995. [刘浩栋，陈巧，徐志扬，等，2020. 珍稀濒危树种陆均松天然种群结构与空间分布格局[J]. 生态学报，40(9): 2 985-2 995.]

LIU PX, 2011. Study on Population Structure and Dynamics of *Populus euphratica* in the Middle and Lower Reache of the Shule River Basin Oasis, Hexi Corridor[J]. J Nat Resour, 26(3): 429-439. [刘普幸，2011. 疏勒河中下游绿洲胡杨种群结构与动态研究[J]. 自然资源学报，26(3):429-439.]

LUO X, GUO QJ, YAO L, et al., 2021. Characteristics of natural population structure of endangered plant *Liriodendron chinense*[J]. J Cent S Univ For Technol, 41(7): 115-123. [罗西，郭秋菊，姚兰，等，2021. 濒危植

物鹅掌楸的天然种群结构特征[J]. 中南林业科技大学学报，41(7): 115-123.]

LIN Y, AI XR, YAO L,et al., 2017. Populatio structure and dynamics of *Metasequoia glyptostroboides* parent trees[J]. Chin J Ecol, 36(6): 1 531-1 538. [林勇，艾训儒，姚兰，等，2017. 水杉原生母树种群结构与动态[J]. 生态学杂志，36(6): 1 531-1 538.]

LV WJ, LIU H T, XIA BS, et al., 2019. *Viburnum* resources and their application to landscaping[J]. World For Res, 32(3): 36-41. [吕文君，刘宏涛，夏伯顺，等，2019. 荚蒾属植物资源及其园林应用[J]. 世界林业研究，32(3): 36-41.]

LI JX, WU DJ, ZHANG SP, et al., 2016. Life table and dynamic analysis of *Fagus hayatae* population in Micangshan Nature Reserve, Sichuan Province, China[J]. Bull Bot Res, 36(1): 68-74. [李金昕，吴定军，章世鹏，等，2016. 四川米仓山自然保护区台湾水青冈种群生命表及动态分析[J]. 植物研究，36(1): 68-74.]

LI GL, ZHANG DH, ZHANG ZS, et al., 2021. Population dynamics of main sand-fixing shrubs in Gurbantunggut Desert[J]. J Desert Res, 41(2): 129-137. [李功麟，张定海，张志山，等，2021. 古尔班通古特沙漠沙丘主要灌木的种群数量动态[J]. 中国沙漠，41(2): 129-137.]

LI WY, LI X, GAN XH, 2018. Population structure and dynamics of endangered plant *Tetracentron sinense*[J]. Subtrop Plant Sci, 47(3): 222-228. [李文英，李欣，甘小洪，2018. 濒危植物水青树的种群结构与数量动态[J]. 亚热带植物科学，47(3): 222-228.]

LI WY, AI XR, YAO L, et al., 2021. Biodiversity evaluation of three national nature reserves in Southwest Hubei[J].Hubei Fore Sci Tech. 50(2):18-22.[李玮宜，艾训儒，姚兰，等，2021. 鄂西南 3 个国家级自然保护区生物多样性评价[J].湖北林业科技，50(2):18-22.]

MANABE T, NISHIMURA N, MIURA M, et al., 2000. Population structure and spatial patterns for trees in a temperate old-growth evergreen broad-leaved forest in Japan[J]. Plant Ecology, 151(2): 181-197.

NIU CJ, LOU AR, SUN RY,et al., 2015. Foundations in ecology[M]. Beijing: Higher Education Press: 64-65. [牛翠娟，娄安如，孙儒泳，等，2015.基础生态学（第 3 版）[M]. 北京：高等教育出版社：64-65]

SUN XL, ZHANG SY, CHENG WH, et al., 2020. Chemical constituents research progress of the genus *Viburnum*[J]. Chin J Mod Appl Pharm, 37(15): 1 907-1 913. [孙晓蕾，张世尧，陈文华，等，2020. 荚蒾属植物化学成分的研究进展[J]. 中国现代应用药学，37(15): 1 907-1 913.]

HUANG ZY, SONG L, 2007. The softwood-cutting propagation of *Viburnum x carlcehalum*[J]. Hubei Agris Sci, 46(6):950-952. [黄增艳，宋蕾，2007. 红蕾雪球荚蒾嫩枝扦插的繁殖技术[J]. 湖北农业科学，46(6):950-952.]

TA F, LIU XD, HUANG D L, et al., 2021. Quantitative dynamics of *Picea crassifolia* population in Dayekou basin of Qilian Mountains[J]. Acta Ecol Sin, 41(17): 6 871-6 882. [拓锋，刘贤德，黄冬柳，等，2021. 祁连山大野口流域青海云杉种群数量动态[J]. 生态学报，41(17):6 871-6 882.]

Wang Z,HUANG RF, WANG LH, et al., 2009. Analysis on life table of natural *Sabina vulgaris* population in MU Us Sandy Land[J]. J Desert Res, 29(1): 118-124. [王卓，黄荣凤，王林和，等，2009. 毛乌素沙地天然臭柏种群生命表分析[J]. 中国沙漠，29(1): 118-124.]

WANG J, YAO L, AI XR, et al., 2020. Structure and dynamic characteristics of *Betula luminifera* populations in different regions of Southwest Hubei Province, China[J]. Chin J Appl Ecol, 31(2): 357-365. [王进，姚兰，艾训儒，等，2020. 鄂西南不同区域亮叶桦种群结构与动态特征[J]. 应用生态学报，31(2): 357-365.]

WU CZ, HONG W, XIE JS, et al., 2000. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population[J]. Chin J Appl Ecol, 11(3): 333-336. [吴承祯，洪伟，谢金寿，等，2000. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析[J]. 应用生态学报，11(3): 333-336.]

XIE TT, SU PX, ZHOU ZJ, et al., 2014. Structure and dynamic characteristics of *Calligonum mongolicum* populationin the desertoasis ecotone[J]. Acta Ecol Sin, 34(15): 4 272-4 279. [解婷婷，苏培玺，周紫鹃，等，2014. 荒漠绿洲过渡带沙拐枣种群结构及动态特征[J]. 生态学报，34(15): 4 272-4 279.]

XIAO YE, ZHOU XY, ZHANG XQ, et al., 2007. Advance in research on dormancy and germination of *Viburnum* seed[J]. Seed, 26(6): 56-59. [肖月娥，周翔宇，张宪权，等，2007. 荚蒾属(*Viburnum*)种子休眠与萌发特性研究进展[J]. 种子，26(6): 56-59.]

XUE BS, 1998. Flora Reipublicae Popularis Sinicae[M]. Beijing: Science Press, 72:12-105.[徐炳声，1988.《中国植物志：第 72 卷》[M]. 北京：科学出版社，72: 12-105.]

YAO L, AI XR, YI YM,et al., 2017. Structure and dynamics of dominant populations in the mixed forest of subtropical evergreen and deciduous Broad-Leaved tree species in the Southwest of Hubei Province[J]. Sci Silv Sin, 53(2): 10-18. [姚兰，艾训儒，易咏梅，等，2017. 鄂西南亚热带常绿落叶阔叶混交林优势种群的结构与动态特征[J]. 林业科学，53(2): 10-18.]

YANG XB, LIU SX, YANG FS, 2000. A study on the structure of *Davidia involucrata* var. *vilmoriniana* population in Houhe, Hubei Province[J]. J Biol, 17(1): 16-18.[杨心兵，刘胜祥，杨福生，2000. 湖北省后河自然保护区光叶珙桐种群结构的研究[J]. 生物学杂志，17(1): 16-18.]

YANG TH, GONG W, LI H, et al., 2015, Study on seed germination characteristics of 4 species of *Viburnum*[J]. Territory Nat Res Stud, (1): 88-90. [杨铁华，宫伟，李虹，等，2015. 4 种荚蒾种子萌发特性研究[J]. 国土与自然资源研究，(1): 88-90.]

YAO LJ, YAO L, YI YM, et al., 2017. Species composition and communty structure of a 6-ha subtropical evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest dynamics plot in the Qizimei Mountains, Hubei Province[J]. Biodivers Sci, 25(3): 275-284. [姚良锦，姚兰，易咏梅，等，2017. 湖北七姊妹山亚热带常绿落叶阔叶混交林的物种组成和群落结构[J].生物多样性，25(3):275-284.]

ZHU Q, AI XR, YAO L, et al., 2019. Structure and dynamics of *Carpinus fargesiana* population in southwest Hubei province[J]. J Cent S Univ For Technol, 39(8): 93-100. [朱强，艾训儒，姚兰，等，2019. 鄂西南川陕鹅耳枥种群结构与动态[J]. 中南林业科技大学学报，39(8): 93-100.]